Journal of Horticultural Science
https://jhs.um.ac.ir

Research Article
Vol. 38, No. 2, Summer 2024, p. 381-392

Effect of Foliar Spray with Ferulic Acid and Nano-chitosan on some Quality Attributes, Phytochemical Compounds of Apple Fruit cv Red Delicious

S. Mostafayi[1*], M.R. Asghari[2]

1 and 2– Ph.D. Student and Professor, Horticulture Science Departement, Faculty of Agriculture, Urmia Uversity, Urmia, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: sajjad.m8597@gmail.com)

Received:	22-10-2023	**How to cite this article:**
Revised:	25-02-2024	Mostafayi, S., & Asghari, M.R. (2024). Effect of foliar spray with ferulic acid and nano-chitosan on some quality attributes, phytochemical compounds of apple fruit cv Red Delicious. *Journal of Horticultural Science, 38*(2), 381-392. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jhs.2024.84985.1300
Accepted:	02-03-2024	
Available Online:	02-03-2024	

Introduction

Apple (*Malus domestica*) is considered as one of the important members of the Rosaceae family and is among the most consumed fruits in the world. One of the biggest challenges for agricultural researchers is to increase the quantity and quality of food to feed the growing population, without negatively affecting the health of the soil and agricultural ecosystems. Due to the adverse effects of chemicals on human health and environmental safety, the production of organic products has been considered as one of the most important issues in food production systems. It is utilized in various forms, including fresh fruit or processed as industrial products. Based on the respiratory and ethylene production pattern, apples are classified as climacteric fruits. Metabolic activities and ripening continue after harvest, so apples have the potential to transform into highly perishable products after harvest. Post-harvest treatments are certainly not the most suitable method for preserving the shelf life and quality of fruits during the post-harvest period. Therefore, employing new and effective methods to enhance quality, control decay, and consequently extend the post-harvest life of apples appears to be essential. Organic farming, as an agricultural system to protect human health and the environment, can improve product quality and shelf life.

Materials and Methods

This study was conducted on an apple orchard (*Malus domestica*) in Zarabad area of Khoy city located in the northwest of Iran (with the same management and growth conditions) in 2018-2019. The experiment was conducted as a factorial in the form of a completely randomized block design in 4 replications. The experimental factors included spraying fruit trees with nano-chitosan in 3 concentrations (zero, 5 and 10 ml) and ferulic acid in 3 concentrations (zero, 0.5 and 1 mM). Apple trees in three times, the first stage in the hazelnut time. Fruit drop, the second stage 20 days after the first stage and the third stage 20 days after the second stage spraying, were sprayed in the afternoon using a Cross mark PB20 manual sprayer. The harvested fruits were sprayed according to the treatments were packed and labeled and transferred to the central laboratory of horticultural sciences of Urmia University. After 24 hours of storage at the laboratory temperature, the measurement of the studied traits started on the fruits, the control treatment in this experiment was distilled water with Tween 80 (0.1/v/v).

Results and Discussion

Compared to the control group, fruits treated with a combination of chitosan and ferulic acid exhibited a significant increase in firmness after harvest. Notably, the most effective treatment involved a combination of 10

https://doi.org/10.22067/jhs.2024.84985.1300

milliliters of nano-chitosan and 1 millimolar ferulic acid, resulting in the highest level of firmness among all treatments.As a result, the combined treatment of chitosan and ferulic acid can delay the aging process by reducing the activity of enzymes involved in cell wall degradation and maintain firmness in apples, contributing to a positive effect. According to the obtained results, fruits treated with nano-chitosan and ferulic acid showed a higher soluble solid content compared to the control fruits, and this amount increased with the higher concentrations of nano-chitosan and ferulic acid. The minimum level of TA was observed in the control treatment, and the highest level was observed in the treatment with 10 milliliters of chitosan and 1 millimolar ferulic acid. The treatment with 1 millimolar ferulic acid and 10 milliliters of chitosan showed the highest percentage of TA content compared to the control. The combination of nano-chitosan and ferulic acid treatment led to a reduction in fruit juice pH, with the lowest pH observed in the treatment with 1 millimolar ferulic acid and 10 milliliters of chitosan, and the highest pH observed in the control treatment. Vitamin C is the primary water-soluble antioxidant that directly reduces damage caused by free radicals. According to the obtained results, the maximum content of vitamin C was observed in the treatment with 1 millimolar ferulic acid and 10 milliliters of chitosan. According to the obtained results, the maximum PAL enzyme activity was observed in the treatment with 1 millimolar ferulic acid and 10 milliliters of chitosan.

Conclusion

In general, the findings of the current study showed that pre-harvest treatment with nano-chitosan and ferulic acid had a positive effect on the post-harvest quality of apple fruits. The fruits treated with the highest concentration of nano-chitosan and ferulic acid exhibited the highest fruit firmness, titratable acidity, vitamin C content, PAL enzyme activity, and the lowest pH compared to the control fruits. These results indicate that nano-chitosan and ferulic acid treatment can be proposed as a promising and healthy method for improving the post-harvest quality of apple fruits.

Keywords: Acidity, PAL, Pre-Harvest, Totatl-acidity

نشریه علوم باغبانی
https://jhs.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۳۸، شماره ۲، تابستان ۱٤۰۳، ص. ۳۹۲-۳۸۱

تأثیر محلول‌پاشی قبل از برداشت اسید فرولیک و نانوکیتوسان برخصوصیات کیفی و فیتوشیمیایی میوه سیب رقم'رد دلیشز' (*Malus domestica* cv. Red Delicious)

سجاد مصطفایی[1]*- محمد رضا اصغری[2]

تاریخ دریافت: ۱۱۴۰۲/۰۷/۳۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۱۲

چکیده

سیب (*Malus domestica*) یکی از میوه‌های تجاری مهم می‌باشد که به‌دلیل الگوی تنفسی فرازگرا در پس از برداشت فسادپذیری بالایی دارد. یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های محققان کشاورزی افزایش کمیت و کیفیت مواد غذایی است و به‌دلیل اثرات نامطلوب مواد شیمیایی بر سلامت انسان و ایمنی محیط زیست، تولید محصولات ارگانیک به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مسائل در سیستم‌های تولید موادغذایی مورد توجه قرار گرفته است. استفاده از تیمارهای نانوکیتوسان و اسید فرولیک به‌عنوان ترکیبات سالم و طبیعی در فرایند تولید محصولات باغی می‌تواند تأثیرات بسیار مطلوبی در فرایند تولید داشته باشد. در این آزمایش که در سال ۱۳۹۸ در باغ سیب 'رد دلیشز' در منطقه زرآباد شهرستان خوی واقع در شمال غرب استان آذربایجان غربی به‌منظور بهبود کیفیت میوها در زمان برداشت انجام گرفت، درختان سیب در سه مرحله با محلول نانوکیتوسان در سه غلظت (صفر، ۵ و ۱۰ میلی‌لیتر) و اسید فرولیک در سه غلظت (صفر، ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار) به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و در چهار تکرار مورد بررسی قرار گرفت و خصوصیات کیفی و بیوشیمیایی میوه‌ها در زمان برداشت بررسی شدند. نتایج نشان داد که تیمار با نانوکیتوسان و اسید فرولیک تأثیر معنی‌داری بر صفات اندازه‌گیری شده داشت، بیشترین میزان سفتی بافت میوه در زمان برداشت در تیمار نانوکیتوسان ۱۰ میلی‌لیتر و اسید فرولیک ۱ میلی‌مولار،کمترین میزان اسیدیته قابل تیتراسیون در شاهد، بیشترین میزان ویتامین ث و آنزیم PAL در تیمار نانوکیتوسان ۱۰ میلی‌لیتر و اسید فرولیک ۱ میلی‌مولار و بیشترین میزان pH و کمترین میزان مواد جامد محلول در شاهد مشاهده گردید.

واژه‌های کلیدی: اسیدیته، اسیدیته کل، فنیل‌آلانین‌آمونیالیاز، قبل از برداشت

مقدمه

سیب (*Malus domestica*) یکی از اعضای مهم خانواده Rosaceae از پرمصرف‌ترین میوه‌ها در جهان به‌شمار می‌رود. به‌طوری‌که به اشکال مختلف از جمله میوه تازه یا به‌صورت محصولات فرآوری شده صنعتی مصرف می‌شود (Wang *et al.*, 2007). براساس الگوی تنفسی و تولید اتیلن، سیب به‌عنوان یک میوه فرازگرا طبقه‌بندی شده و فعالیت‌های متابولیک و رسیدن آن پس‌از برداشت نیز ادامه می‌یابد، بنابراین، میوه‌های سیب بعدازبرداشت قابلیت تبدیل شدن به محصولات بسیار فاسدشدنی را دارند (Sahraei *et al.*, 2016). امروزه تقاضای زیادی برای تولید مواد غذایی سالم، سازگار با محیط زیست با کیفیت بالا و ماندگاری طولانی‌تر و بدون هیچ‌گونه مواد نگهدارنده شیمیایی وجود دارد (Saavedra *et al.*, 2016). تیمارهای پس از برداشت قطعاً مناسب‌ترین روش برای حفظ ماندگاری و کیفیت میوه در دوره پس از برداشت نیستند (Ehtesham Nia *et al.*, 2021). بنابراین، به‌کارگیری روش‌های جدید و مؤثر برای افزایش کیفیت، کنترل پوسیدگی و در نتیجه، عمر پس از برداشت میوه‌های سیب ضروری به نظر می‌رسد. تحقیقات زیادی در زمینه بهبود کیفیت میوه سیب در پس از برداشت انجام گرفته است، ولی از آنجا که مسئله کیفیت میوه فرآیندی بسیار پیچیده‌ای است، بنابراین نیازمند تحقیقات بیشتر است. در این راستا، کاربرد تیمارهای قبل از برداشت می‌تواند به‌عنوان یک جایگزین مهم برای حل مشکلات ذکر شده در نظر گرفته شود.

۱ و ۲- به‌ترتیب دانشجوی دکتری علوم باغبانی و استاد، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
(*- نویسندهٔ مسئول: Email: sajjad.m8597@gmail.com)

https://doi.org/10.22067/jhs.2024.84985.1300

کیتوسان[1]، به‌عنوان یک پلی‌ساکارید کاتیونی، دارای خواص غیرسمی، زیست‌فعال و ضدقارچی بوده که می‌تواند به‌صورت یک مانع نیمه‌تراوا روی سطح میوه عمل کرده و اتمسفر آن را تغییر دهد و بلوغ و پیری را در طیف وسیعی از محصولات باغبانی به تعویق بیندازد (Baswal *et al.*, 2020). با توجه به فعالیت‌های بیولوژیکی و نحوه عملکرد کیتوسان به‌عنوان یک ترکیب ضدمیکروبی نیز در نظر گرفته می‌شود و می‌تواند علیه ریزجانداران عمل کرده و به‌عنوان القاکننده مکانیسم‌های دفاعی گیاه مورد استفاده قرار گیرد (Xing *et al.*, 2020; Sofy *et al.*, 2020). از این نظر، محلول‌پاشی قبل و بعد از برداشت میوه‌ها با کیتوسان ممکن است باعث حفظ کیفیت میوه‌ها و تأخیر در پیری آن‌ها شده، بدون اینکه تأثیر مضر بر پذیرش مصرف کننده داشته باشد (Reddy *et al.*, 2000). در این راستا، ژانگ[2] و همکاران (Zhang *et al.*, 2019) گزارش کردند محلول‌پاشی کیتوسان بر روی میوه‌های کیوی[3]، باعث بهبود عملکرد و کیفیت میوه، افزایش محتوای کلسیم و سفتی، رسیدن و نرم شدن میوه شده و پوسیدگی را به تأخیر انداخته و قابلیت نگهداری را افزایش می‌دهد. همچنین گزارش شده محلول‌پاشی کیتوسان باعث بهبود وزن و اندازه میوه در انبه[4] (Zagzog *et al.*, 2017) و طول عمر نگهداری انگور[5] (Ehtesham Nia *et al.*, 2021) گردیده است. اسیدفرولیک[6] در گیاهان از هیدروکسی سینامیک اسید مشتق شده و یک محصول واسطه‌ای در مسیر فنیل‌پروپانوئید است و فواید بی‌شمار آن برای سلامت انسان نشان داده شده است (Navarrete *et al.*, 2015; Ma *et al.*, 2010). اسید فرولیک، به‌عنوان یک اسیدفنولیک طبیعی در گیاهان به‌وفور یافت می‌شود، معمولاً در دیواره‌های سلولی متصل به پلی‌ساکاریدها و پروتئین‌های اسکلت‌سلولی یافت می‌شود (Mathew & Abraham, 2006). به‌دلیل عملکردهای بیولوژیکی خود که شامل فعالیت‌های ضداشعه ماوراء بنفش، ضداکسیداتیو و ضدسرطان و از بین بردن رادیکال‌های آزاد است که در محصولات بهداشتی، آرایشی و بهداشتی و پزشکی استفاده می‌شود (Lillioja *et al.*, 2013; Vinayagam *et al.*, 2016). در مطالعه فروز[7] و همکاران (Ferruz *et al.*, 2016) روی گونه‌های قارچ *فوزاریوم* در محیط آزمایشگاهی نشان داد تیمار با اسید فرولیک به‌طور قابل توجهی رشد پاتوژن را مهار کرده و بیوسنتز سم را کاهش می‌دهد. اثر مشابهی توسط فروکیو[8] و همکاران (Ferrochio *et al.*, 2013) مشاهده شد و یافته‌های او در ذرت تأیید کرد که اسید فرولیک می‌تواند به‌طور مؤثری رشد پاتوژن را مهار کرده و تولید سم را کاهش دهد. بااین‌حال، اطلاعات در مورد استفاده و تأثیر محلول‌پاشی قبل از برداشت اسید فرولیک بر کیفیت میوه تولیدی هنوز به‌طور قابل توجهی گزارش نشده است. بنابراین، مطالعه حاضر با هدف بررسی تأثیر کاربرد قبل از برداشت نانوکیتوسان و اسید فرولیک به‌طور جداگانه و به‌صورت ترکیبی در چند مرحله بر خصوصیات کیفی و بیوشیمیایی میوه سیب در زمان برداشت انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی و تیمارهای آزمایشی

این مطالعه بر روی باغ سیب (*Malus domestica*) در منطقه زرآباد شهرستان خوی واقع در شمال غرب ایران (با شرایط مدیریتی و رشدی یکسان) در سال‌های ۱۳۹۸- ۱۳۹۹ انجام گرفت. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار انجام گرفت. فاکتورهای آزمایشی شامل محلول‌پاشی درختان میوه با نانوکیتوسان در سه غلظت (صفر، ۵ و ۱۰ میلی‌لیتر) و اسید فرولیک در سه غلظت (صفر، ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار) بود. درختان سیب در سه زمان، مرحله اول در زمان فندقی شدن قطرمیوه، مرحله دوم ۲۰ روز پس از مرحله اول و مرحله سوم ۲۰ روز بعد از محلول‌پاشی مرحله دوم، در ساعات بعد از ظهر با استفاده از سم‌پاش دستی مدل کراس مارک PB20 محلول‌پاشی شدند. میوه‌های برداشت شده با توجه به تیمارهای انجام شده بسته‌بندی و اتیکت‌زنی شده و به آزمایشگاه مرکزی علوم باغبانی دانشگاه ارومیه منتقل شدند و پس از ۲۴ ساعت نگهداری در دمای آزمایشگاه اندازه‌گیری صفات مورد مطالعه بر روی میوه‌ها شروع شد، شاهد در این آزمایش آب مقطر همراه با (۰/۱v/v) توبین ۸۰ بود.

اندازه‌گیری خصوصیات کیفی و بیوشیمیایی

به‌منظور تعیین سفتی بافت میوه از دستگاه اندازه‌گیری سفتی (Model Fruit Texture Analyzer, USA) با پروب با قطر شش میلی‌متر استفاده شد. جهت اندازه‌گیری مواد جامد محلول (TSS)، ۵۰ میکرولیتر از عصاره نمونه با استفاده از دستگاه رفراکتومتر دستی مدل (AZ 8601) در دمای آزمایشگاه اندازه‌گیری شد، برای کالیبره کردن این دستگاه از آب مقطر استفاده گردید (Magne *et al.*, 2006). برای اندازه‌گیری اسیدیته قابل تیتراسیون (TA) از روش تیتراسیون با سود

1- Chitosan
2- Zhang
3- *Actinidia deliciosa* cv. 'Guichang
4- *Mangifera indica* L.
5- *Vitis vinifera* L. cv. Yaghouti'
6- Ferulic Acid
7- Ferruz
8- Ferrochio

۰/۱ نرمال استفاده شد و مقدار اسیدیته قابل تیتراسیون از معادله زیر محاسبه گردید (Bellincontro *et al.*, 2004).

TA = S×N×F×E/C×100

که در این معادله، TA: مقدار اسیدیته بر اساس میلی‌گرم اسیدمالیک در ۱۰۰ میلی‌لیتر عصاره نمونه، S: مقدار NaOH مصرف شده (میلی‌لیتر)، N: نرمالیته NaOH، F: فاکتور NaOH، E: اکی والان اسید مورد نظر (ایزوسیتریک) و C: مقدار عصاره میوه (میلی‌لیتر) می‌باشد و در نهایت، برای اندازه‌گیری pH آب‌میوه از یک pH متر (pH-Meter CG 824، SCHOTT، Hofheim، آلمان) استفاده شد.

ویتامین ث

برای اندازه‌گیری ویتامین ث عصاره میوه از روش تیتراسیون با محلول ان- بروموسوکسینامید استفاده شد. مقدار پنج میلی‌لیتر عصاره میوه، به همراه پنج میلی‌لیتر محلول پایدارکننده (Trichloroacetic acid) TCA و شش میلی‌لیتر آب مقطر و یک میلی‌لیتر یدید پتاسیم چهار درصد و ۰/۳ میلی‌لیتر اسید استیک ۱۰ درصد و ۰/۴ میلی‌لیتر معرف نشاسته یک درصد به‌وسیلهٔ محلول NBS با غلظت چهار میلی گرم در لیتر تا رسیدن به رنگ آبی تیتر شد و ویتامین‌ث عصاره برحسب میلی‌گرم در ۱۰۰ میلی‌گرم گزارش شد (Egan *et al.*, 1981).

فعالیت آنزیم PAL

مقدار دو گرم بافت میوه با دو میلی‌لیتر بافر استخراج (۵۰ میلی‌مولار Tris-HCl با اسیدیته ۸/۵) حاوی ۱۵ میلی‌مولار بتا–مرکاپتو اتانول همگن شد. سپس به‌مدت پنج دقیقه با نیروی ۴۰۰۰ دور در دمای چهار درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شد. در نهایت، برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم PAL از محلول رویی به‌عنوان عصاره آنزیمی استفاده شد. برای تخمین فعالیت آنزیم، یک میلی‌لیتر محلول واکنش شامل بافر واکنش (۵۰۰ میکرومولار Tris-HCl با اسیدیته هشت) حاوی شش میکرومول فنیل‌آلانین و ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی در حجم نهایی یک میلی‌لیتر تهیه شد. سپس به‌مدت ۶۰ دقیقه در دمای ۴۰ درجه سانتی گراد قرار گرفت. در نهایت، به این محلول مقدار ۵۰ میکرولیتر اسید کلریدریک با غلظت پنج نرمال اضافه شد تا واکنش تولید سینامیک اسید از فنیل‌آلانین متوقف شود. در پایان، فعالیت آنزیم در طول موج ۲۹۰ نانومتر بر اساس میزان تولید سینامیک اسید برحسب میکرومول بر دقیقه گزارش گردید (Beaudoin-Eagan & Thorpe, 1985).

آنالیز آماری

داده‌های به‌دست آمده از سنجش پارامترهای مختلف با چهار تکرار به‌صورت آزمایش فاکتوریل و بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی، توسط نرم‌افزار (SAS, version (9.2 و آزمون چنددامنه‌ای دانکن مورد بررسی قرار گرفتند. تجزیه واریانس‌ها نیز با ضریب اطمینان ۹۵ درصد ($p \leq 0.05$) انجام شد (جدول ۱) و نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excelرسم شدند.

جدول ۱ــ تجزیه واریانس خصوصیات فیتوشیمیایی و بیوشیمیایی اندازه‌گیری شده میوه تحت تأثیر تیمار نانوکیتوسان و اسید فرولیک در سیب رقم ’رد دلیشز‘

Table 1- ANOVA for the phytochemical and biochemical properties measured of fruit under the influence of chitosan nanoparticle and ferulic acid treatment on apple cv. Red Delicious.

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares					
		فعالیت آنزیم PAL PAL enzayme activity	اسیدیته PH	ویتامین ث Vitamin C	اسیدیته کل TA	قند محلول Tss	سفتی Firmnes
بلوک Block	3	6.080 ns	0.112 ns	2.142 ns	.137 ns	185.42 ns	.143 ns
نانوکیتوسان Nano chitosan (A)	2	253.959*	3.237*	730.971*	10.508*	1067.111*	0.947*
فرولیک اسید FerulicAcid (B)	2	149.478**	4.507*	58.685*	0.921*	453.777*	0.727*
A×B	4	86.857*	2.073*	40.758*	0.366*	99.611 ns	0.602*
خطا Error	24	3.691	0.085	1.085	0.076	66.768	0.069
ضریب تغییرات C.V(٪)		11.03	8.62	4.04	10.12	7.37	3.45

ns ، * و **: به‌ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح پنج و یک درصد.

ns, ** and *: non-significant, significant at p≤0.01 and p≤0.05, respectively

نتایج و بحث

سفتی میوه

سفتی میوه یکی از مهم‌ترین فاکتورها در تعیین کیفیت و عمر پس از برداشت آن می‌باشد(Kirmani *et al.*, 2013). به‌طور کلی، سفتی میوه پس از برداشت در میوه‌های تیمار شده با کیتوسان و اسید فرولیک در مقایسه با شاهد به‌طور قابل توجهی افزایش یافت. بااین‌حال، میوه های تیمارشده با نانوکیتوسان ۱۰ میلی‌لیتر و اسید فرولیک یک میلی‌مولار سفتی میوه بالاتری نسبت به بقیه تیمارها نشان دادند (شکل ۱). میزان نرم شدن میوه به‌طور مستقیم با سرعت شکسته شدن ترکیبات پکتینی از طریق فعالیت آنزیم‌های پکتین‌متیل‌استراز (PME) و پلی‌گالاکتوروناز (PG) در طول رسیدن مرتبط است (Paniagua *et al.*, 2014). تأثیر مثبت کیتوسان قبل از برداشت بر استحکام میوه می‌تواند به‌دلیل تشکیل یک لایه کیتوسان بر روی میوه باشد که به عنوان مانعی برای جذب O_2 عمل کرده و در نتیجه، فعالیت متابولیک از جمله فعالیت آنزیم‌های تخریب‌کننده دیواره‌سلولی را کاهش داده و فرآیند رسیدن را کاهش دهد (Reddy *et al.*, 2000). در راستای نتایج این تحقیق، کاسمه سیلوا[1] و همکاران (Cosme Silva *et al.*,2017) در انبه و لی و یو[2] (Li and Yu, 2001)در هلو افزایش استحکام میوه را پس از محلول‌پاشی با کیتوسان گزارش کردند. علاوه‌براین، ردی و همکاران (Reddy *et al.*, 2000) اثر مفید اسپری قبل از برداشت کیتوسان را بر سفتی گوشت توت‌فرنگی گزارش کردند. علاوه‌براین، آن‌ها دریافتند که سفتی میوه با افزایش غلظت کیتوسان ارتباط دارد. مطابق با همین رفتار کیتوسان، افزایش سفتی میوه در اثر تیمار با اسید فرولیک در ذغال اخته (Xu & Liu, 2017) و میوهای تازه برش سیب (Alves *et al.*, 2017) گزارش شده است. در نتیجه، تیمار ترکیبی کیتوسان و اسید فرولیک می‌توانند با کاهش فعالیت آنزیم‌هایی که در تخریب دیواره‌سلولی نقش دارند، روند پیری را به تأخیر انداخته و با حفظ سفتی در سیب تأثیر مثبت بگذارند.

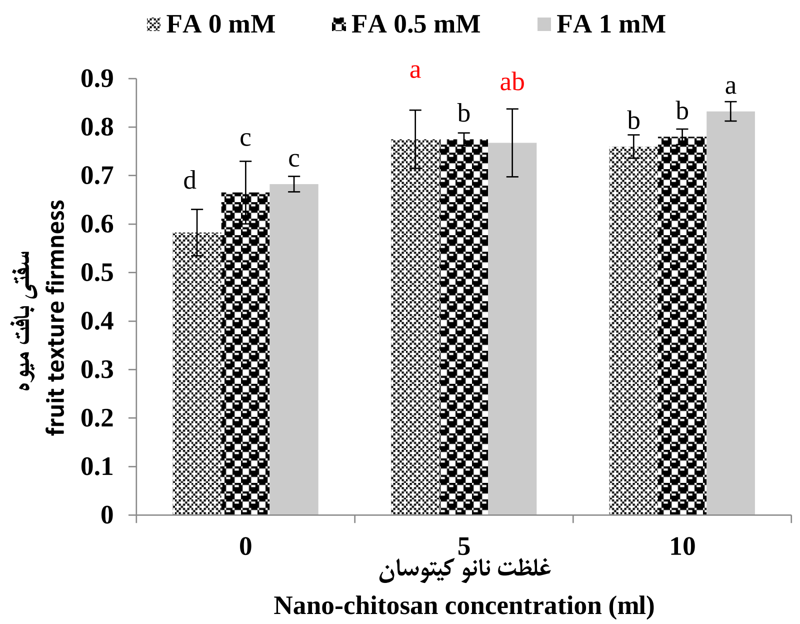
مواد جامد محلول

طبق نتایج به‌دست آمده میوه‌های تیمار شده با نانوکیتوسان و اسیدفرولیک، محتوای مواد جامد محلول بالاتری را نسبت به میوه‌های شاهد نشان دادند، به‌طوری‌که این میزان با افزایش غلظت نانوکیتوسان و اسید فرولیک بیشتر بود. همچنین در تیمار قبل از برداشت میوه‌ها با اسید فرولیک بین تیمار نیم میلی‌مولار اسید فرولیک و شاهد اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۲). گزارش شده است که کاربرد قبل از برداشت کیتوسان، با کاهش روند پیری از طریق کاهش تولید و اثر اتیلن، کاهش تنفس باعث حفظ دیواره‌سلولی شده که در نهایت، منجر به حفظ بهتر قندهای محلول می‌شود (Ehtesham Nia *et al.*, 2021). افزایش درصد قندهای‌محلول در طول دوره نگهداری احتمالاً به‌دلیل افزایش فعالیت آنزیم‌های مسئول هیدرولیز نشاسته به قندهای‌محلول است و می‌تواند ناشی از کاهش میزان کربوهیدرات‌ها، پکتین‌ها، هیدرولیز نسبی پروتئین و تجزیه گلیکوزیدها به زیر واحدها در طول تنفس باشد (Abbasi *et al.*, 2009; Aranzana *et al.*, 2011) که و وانگمتا[3] (Ke & Wongmetha, 2012) گزارش کردند که کیتوسان هیچ تأثیری بر مقدار قندهای‌محلول میوه‌های انبه ندارد. پاسخ مشابهی نیز در توت‌فرنگی[4] گزارش شده است (Hernández-Muñoz *et al.*, 2008). در انبه و موز تیمار شده با کیتوسان (Kittur *et al.*, 2001) محتوای قند محلول در مقایسه با میوه‌های شاهد کمتر بود، درحالی‌که مقادیر بالاتری برای هلوهای تیمار شده مشاهده شد (Srinivasa *et al.*, 2002).

اسیدیته قابل تیتراسیون (TA)

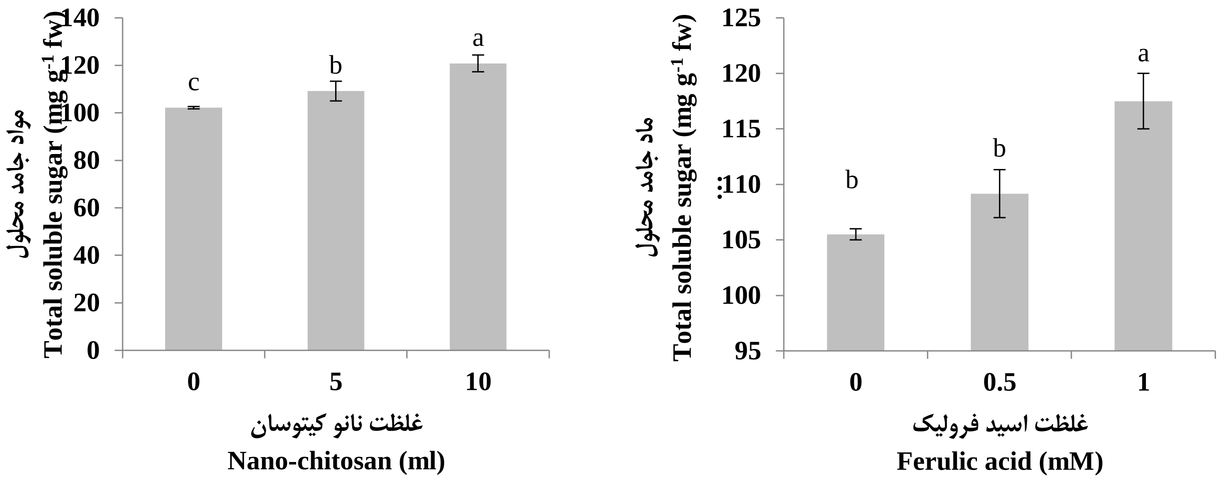
طبق نتایج به‌دست آمده حداقل میزان TA در شاهد و بیشترین میزان در تیمار کیتوسان ۱۰ میلی‌لیتر و اسید فرولیک ۱ میلی‌مولار مشاهده شد. تیمار ۱ میلی‌مولار اسید فرولیک و ۱۰ میلی‌لیتر کیتوسان بالاترین درصد محتوای TA را در مقایسه با شاهد نشان داد که اختلاف معنی‌داری با تیمار نیم میلی‌مولار اسید فرولیک و پنج میلی‌لیتر کیتوسان نداشت (شکل ۳). در فرآیند پس از برداشت، از قندها و اسیدهای آلی به‌عنوان سوبسترای اصلی در فرآیند متابولیک استفاده می‌شود. به‌طوری‌که اسیدیته قابل تیتراسیون معمولاً در طول نگهداری کاهش می‌یابد و حداکثر کاهش نشان‌دهنده پیری می‌باشد. پوشش‌های خوراکی یک لایه نازک بر روی سطوح میوه تشکیل می‌دهند که می‌تواند تبادل گاز و سرعت تنفس میوه را کاهش دهد (Cosme Silva *et al.*, 2017). نتایج مشاهده شده در این مطالعه می‌تواند به دلیل کاهش تغییرات متابولیک اسیدهای آلی به دی‌اکسیدکربن و آب، کاهش سرعت تنفس و در نتیجه، حفظ میزان بالاتر اسیدها باشد. تنفس یک فرآیند آنزیمی است و آنزیم‌های دخیل در تنفس از اسیدهای آلی به‌عنوان سوبسترا استفاده می‌کنند (Yaman & Bayoındırlı, 2002). نتایج گزارش شده در این مطالعه با نتایج به‌دست آمده توسط گوتام[5] و همکاران (Goutam *et al.*, 2010) در مورد گواوا مطابقت دارد.

1- Cosme Silva
2- Li and Yu
3- Wongmetha and Ke
4- *Fragaria*× *ananassa*
5- Goutam



شکل ۱- اثر متقابل نانوکیتوسان × اسید فرولیک بر میزان سفتی میوه سیب رقم 'رددلیشز'

Figure 1- The interaction effect of chitosan nanoparticle ×ferulic acid on the fruit firmness of apple cv. Red Delicious. (DMRT, $p\leq0.05$)

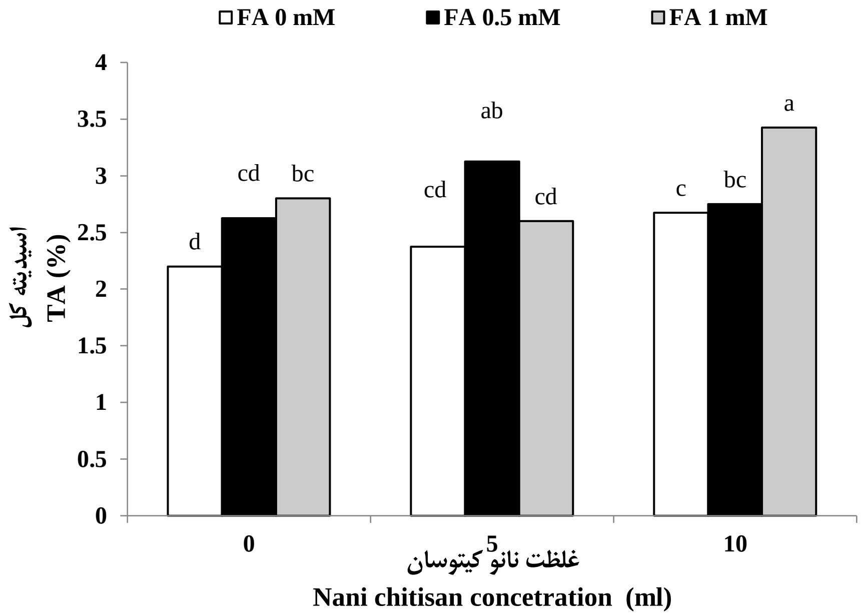


شکل ۲- اثر متقابل نانوکیتوسان × اسید فرولیک بر میزان مواد جامد محلول میوه سیب رقم 'رددلیشز'

Figure 2- The interaction effect of chitosan nanoparticle ×ferulic acid on the fruit total soluble sugar content of apple cv. Red Delicious. (DMRT, $p\leq0.05$)

pH

طبق نتایج اثر متقابل غلظت‌های مختلف نانوکیتوسان و اسید فرولیک بر pH آب‌میوه معنی‌دار بود. ترکیب تیمار نانوکیتوسان و اسید فرولیک باعث کاهش pH آب‌میوه گردید به‌طوری‌که کمترین pH در تیمار ۱ میلی‌مولار اسید فرولیک و ۱۰ میلی‌لیتر کیتوسان و بیشترین آن در شاهد مشاهده گردید. همچنین به‌جز تیمار ۱ میلی‌مولار اسید فرولیک و ۱۰ میلی‌لیتر کیتوسان با شاهد، اختلاف بقیه تیمارها معنی‌دار نبود (شکل ۴). pH آب‌میوه یکی از مهم‌ترین پارامترهای کیفی است به‌طوری‌که با اسیدیته قابل تیتراسیون و اسید آسکوربیک رابطه غیرمستقیم دارد.



شکل ۳- اثر متقابل نانوکیتوسان × اسید فرولیک بر میزان اسیدیته قابل تیتراسیون میوه سیب رقم 'رددلیشز'

Figure 3- The interaction effect of chitosan nanoparticle ×ferulic acid on the fruit titratable acidity of apple cv. Red Delicious. (DMRT, *p≤0.05*)

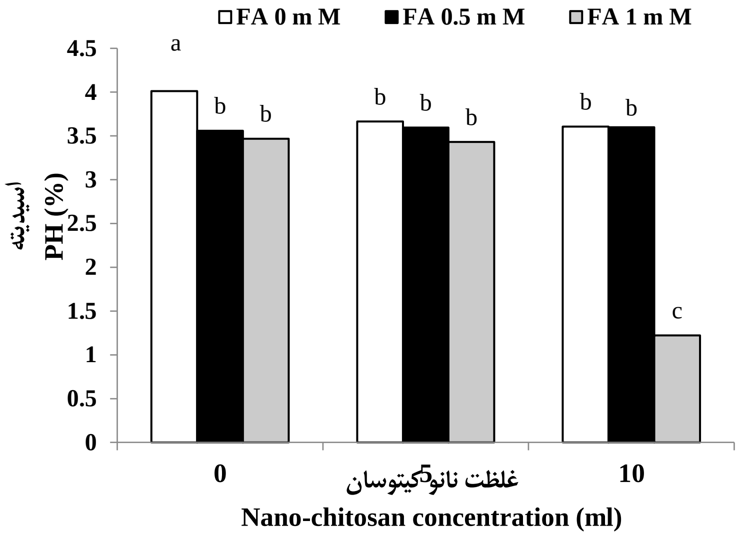
افزایش اسیدیته قابل تیتراسیون میوه‌ها باعث کاهش pH همان میوه می‌شود. شرایط بیوشیمیایی میوه با استفاده از کیتوسان تغییر می‌کند و با ایجاد مانعی برای عبور اکسیژن، سرعت تنفس و فرآیندهای متابولیک را کاهش می‌دهد که دلیلی واقعی برای تغییر pH است (Sheikh *et al.*, 2017). از طرف دیگر، اسید فرولیک یکی از فراوان‌ترین اسیدهای‌فنولیک در گیاهان است که به‌عنوان یک عامل اتصال‌دهنده دیواره‌سلولی عمل می‌کند (He *et al.*, 2019). یافته‌های امران[1] و همکاران (Imran *et al.*, 2000) نیز نتایج ما را تأیید می‌کند که جلوگیری از هیدرولیز پکتین و افزایش اسیدهای‌آزاد منجر به کاهش pH می‌شود. علاوه‌براین، دلیل افزایش pH میوه در زمان نگهداری، افزایش سرعت تنفس و به دنبال آن افزایش فرآیندهای کاتابولیک مختلف گزارش شده است که منجر به تجزیه اسیدهای آلی می‌شود (Kelebek *et al.*, 2008).

ویتامین ث

ویتامین ث اصلی‌ترین آنتی‌اکسیدان محلول در آب است که به‌طور مستقیم آسیب‌های ناشی از رادیکال‌های آزاد را کاهش می‌دهد. بر اساس نتایج به‌دست آمده حداکثر محتوای ویتامین ث در تیمار ۱ میلی‌مولار اسید فرولیک و ۱۰ میلی‌لیتر کیتوسان مشاهده شد، درحالی‌که کمترین مقدار در شاهد مشاهده گردید که اختلاف معنی‌داری با تیمارهای نیم میلی‌مولار اسید فرولیک و یک میلی‌مولار اسید فرولیک نداشت (شکل ۵). اسید آسکوربیک رابطه مستقیمی با اسیدیته دارد، درحالی‌که نسبت به سطح pH رابطه آن معکوس است. سطح اسید آسکوربیک (ویتامین ث) با رسیدن میوه به‌دلیل اثر مستقیم آنزیم آسکوربیک‌اسیداکسیداز (آسکوربیناز)، اکسیداسیون و به دنبال آن تبدیل اسید آسکوربیک به ۲، ۳- دی‌کتوگولونیک اسید کاهش می‌یابد (Chitarra, 2005) و ساجید[2] و همکاران (Sajid *et al.*, 2020) تخریب تأخیری ویتامین ث را در میوه‌های هلو (*Prunus persica* L.) تیمار شده با کیتوسان را گزارش کردند. عبور پایین سطح اکسیژن منجر به کاهش فعالیت آسکوربیناز شده است که از اکسیداسیون اسید آسکوربیک جلوگیری می‌کند (Dang *et al.*, 2010). مطابق با نتایج این تحقیق، سطح بالایی از اسید آسکوربیک در نتیجه کاربرد کیتوسان در توت‌فرنگی یافت شد (Wang & Gao, 2013). نتایج این مطالعه نشان داد که محتوای ویتامین ث زمانی افزایش می‌یابد که تیمارهایی ترکیب نانوکیتوسان و اسید فرولیک در غلظت‌های بالا به‌کار برده شوند که احتمالاً به دلیل استحکام دیواره سلولی و القای اتمسفر تغییر یافته در نتیجه کاربرد این دو ترکیب باشد.

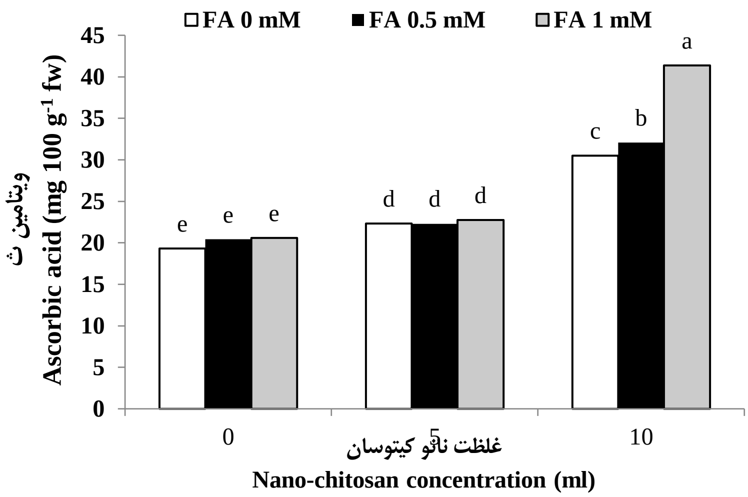
1- Imran

2- Sajid



شکل ٤- اثر متقابل نانوکیتوسان × اسید فرولیک بر میزان pH میوه سیب رقم ٔرددلیشر٬

Figure 4- The interaction effect of chitosan nanoparticle ×ferulic acid on fruit pH of apple cv. Red Delicious. (DMRT, $p\leq 0.05$)



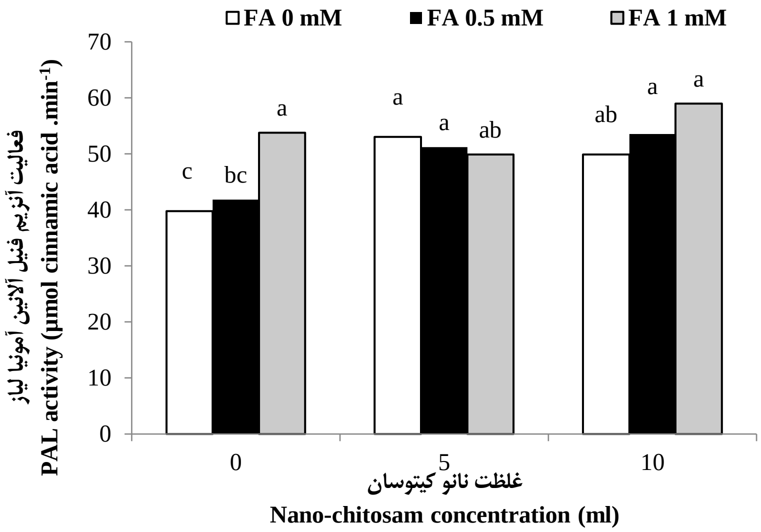
شکل ٥- اثر متقابل نانوکیتوسان × اسید فرولیک بر میزان ویتامین ث میوه سیب رقم ٔرددلیشر٬

Figure 5- The interaction effect of chitosan nanoparticle ×ferulic acid on the vitamin C content of apple cv. Red Delicious. (DMRT, $p\leq 0.05$).

فعالیت آنزیم PAL

بر اساس نتایج به‌دست آمده حداکثر فعالیت آنزیم PAL در تیمار ۱ میلی‌مولار اسید فرولیک و ۱۰ میلی‌لیتر کیتوسان مشاهده شد و به جز شاهد و اسید فرولیک نیم میلی‌مولار اختلاف معنی‌داری با بقیه تیمارها نداشت (شکل ۶). مطالعات کمی در مورد تأثیر کاربرد بیرونی اسید فرولیک بر فعالیت آنزیم PAL انجام شده است و نتایج متناقض هستند. ساتو[1] و همکاران (Sato *et al.*, 1982) نشان داد که کاربرد اسید فرولیک در برابر فعالیت PAL در سیب‌زمینی شیرین بی‌اثر است. در واقع، کیتوسان به‌عنوان یک محرک، می‌تواند فعالیت آنزیم‌های PAL را که در بیوسنتز پلی‌فنل‌ها و کوتیکول نقش دارند، فعال کند (Orzali *et al.*, 2014)؛ در مطالعه حاضر، فعالیت آنزیم PAL به‌طور قابل توجهی با افزایش غلظت نانوکیتوسان و اسید فرولیک افزایش نشان داد.

1- Sato



شکل ٦- اثر متقابل نانوکیتوسان × اسید فرولیک بر میزان فعالیت آنزیم PAL میوه سیب رقم ُردلیشز

Figure 6- The interaction effect of chitosan nanoparticle ×ferulic acid on fruit PAL enzyme activity of apple cv. Red Delicious. (DMRT, *p≤0.05*)

نتیجه‌گیری

یافته‌های مطالعه حاضر نشان داد که تیمار قبل از برداشت نانوکیتوسان و اسید فرولیک بر کیفیت میوه‌های سیب در زمان برداشت تأثیر مثبتی داشتند. میوه‌های تیمار شده با بالاترین غلظت نانوکیتوسان و اسید فرولیک، بیشترین سفتی میوه، اسیدیته قابل تیتراسیون، ویتامین ث، فعالیت آنزیم PAL و کمترین میزان pH را در مقایسه با میوه شاهد در زمان برداشت را نشان دادند. این نتایج نشان می‌دهد که تیمار نانوکیتوسان و اسید فرولیک می‌تواند به‌عنوان روشی سالم و امیدوارکننده جهت بهبود کیفیت میوه‌های سیب در زمان برداشت میوه پیشنهاد شود.

References

1- Abbasi, N.A., Iqbal, Z., Maqbool, M., & Hafiz, I.A. (2009). Postharvest quality of mango (*Mangifera indica* L.) fruit as affected by chitosan coating. *Pakistan Journal of Botany*, *41*(1), 343-357.

2- Alves, M.M., Gonçalves, M.P., & Rocha, C.M. (2017). Effect of ferulic acid on the performance of soy protein isolate-based edible coatings applied to fresh-cut apples. *Food Science and Technology*, *80*, 409-415. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.03.013

3- Aranzana, M.J., Abbassi, E.K., Howad, W., & Arús, P. (2010). Genetic variation, population structure and linkage disequilibrium in peach commercial varieties. *BMC Genetics*, *11*, 1-11. https://doi.org/10.1186/1471-2156-11-69

4- Baswal, A.K., Dhaliwal, H.S., Singh, Z., Mahajan, B.V.C., Kalia, A., & Gill, K.S. (2020). Influence of carboxy methylcellulose, chitosan and beeswax coatings on cold storage life and quality of Kinnow mandarin fruit. *Scientia Horticulturae*, *260*, 108-887. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108887

5- Beaudoin-Eagan, L.D. & Thorpe, T.A. (1985). Tyrosine and phenylalanine ammonialyase activities during shoot initiation in tobacco callus cultures. *Plant Physiology*, *78*(3), 438-441. https://doi.org/10.1104

6- Bellincontro, A., De Santis, D., Botondi, R., Villa, I., & Mencarelli, F. (2004). Different postharvest dehydration rates affect quality characteristics and volatile compounds of Malvasia, Trebbiano and Sangiovese grapes for wine production. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *84*(13), 1791-1800. https://doi.org/10.1002/JSFA.1889

7- Chitarra, M.I.F., & Chitarra, A.B. (2005). Post-harvest of fruits and vegetables, Physiology and Handling. 2nd Edition, FAEPE, Lavras, Lavras, 785 p.

8- Cosme Silva, G.M.C., Silva, W.B., Medeiros, D.B., Salvador, A.R., Cordeiro, M.H.M., da Silva, N.M., & Mizobutsi, G.P. (2017). The chitosan affects severely the carbon metabolism in mango *(Mangifera indica* L. cv. Palmer) fruit during storage. *Food Chemistry*, *237*, 372-378. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.05.123

9- Dang, Q.F., Yan, J.Q., Li, Y., Cheng, X.J., Liu, C.S., & Chen, X.G. (2010). Chitosan acetate as an active coating material and its effects on the storing of *Prunus avium* L. *Journal Food Science*, *75*(2), S125-S131. https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01483.x

10- Sahraei Khosh Gardesh, A.S.K., Badii, F., Hashemi, M., Ardakani, A.Y., Maftoonazad, N., & Gorji, A.M. (2016). Effect of nanochitosan based coating on climacteric behavior and postharvest shelf-life extension of apple cv. Golab Kohanz. *Food Science and Technology*, *70*, 33-40. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.02.002
11- Shazly, S.M., Eisa A.M., Moatamed, A.M.H., & Kotb, H.R.M. (2013). Effect of some agrochemical pre harvest foliar application on yield and physiology molecular biology plants quality of Swelling peach trees. *Alexander Journal of Agriculture Research*, *58*(3), 219-229.
12- Egan, H., Kirk, R.S., & Sawyer, R. (1981). Pearson's chemical analysis of food 8th Edt. Churchill livingstone, medical division of longman group Ltd. *Great Britain*, 591.
13- Ferrochio, L., Cendoya, E., Farnochi, M.C., Massad, W., & Ramirez, M.L. (2013). Evaluation of ability of ferulic acid to control growth and fumonisin production of *Fusarium verticillioides* and *Fusarium proliferatum* on maize based media. *International Journal of Food Microbiology*, *167*(2), 215-220. https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2013.09.005
14- Ferruz, E., Atanasova-Pénichon, V., Bonnin-Verdal, M.N., Marchegay, G., Pinson-Gadais, L., Ducos, C., Lorán, S., Ariño, A., Barreau, C., & Richard-Forget, F. (2016). Effects of phenolic acids on the growth and production of T-2 and HT-2 toxins by *Fusarium langsethiae* and F. sporotrichioides. *Molecules*, *21*(4), p.449. https://doi.org/10.3390/molecules21040449
15- Goutam, M., Dhaliwal, H.S., & Mahajan, B. (2010). Effect of pre-harvest calcium sprays on post-harvest life of winter guava (*Psidium guajava* L.). *Journal of Food Science and Technology*, *47*, 501-506. https://doi.org/10.1007/s13197-010-0085-2
16- He, J., Ma, L., Wang, D., Zhang, M., & Zhou, H. (2019). Ferulic acid treatment reinforces the resistance of postharvest apple fruit during gray mold infection. *Journal of Plant Pathology*, *101*, 503-511. https://doi.org/10.1007/s42161-018-00223-0
17- Hernandez-Munoz, P., Almenar, E., Del Valle, V., Velez, D., & Gavara, R. (2008). Effect of chitosan coating combined with postharvest calcium treatment on strawberry (*Fragaria× ananassa*) quality during refrigerated storage. *Food Chemistry*, *110*(2), 428-435. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.02.020
18- Imran, A., Rafiullah, K., & Muhammad, A. (2000). Effect of added sugar at various concentration on the storage stability of guava pulp. *Sarhad Journal of Agriculture*, *16*(1), 89-93.
19- Kelebek, H., Canbas, A., & Selli, S. (2008). Determination of phenolic composition and antioxidant capacity of blood orange juices obtained from cvs. Moro and Sanguinello (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) grown in Turkey. *Food Chemistry*, *107*(4), 1710-1716. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.10.004
20- Kirmani, S.N., Wani, G.M., Wani, M.S., Ghani, M.Y., Abid, M., Muzamil, S., Raja, H., & Malik, A.R. (2013). Effect of preharvest application of calcium chloride ($CaCl_2$), gibberlic acid (GA_3) and napthelenic acetic acid (NAA) on storage of plum (*Prunus salicina* L.), cv. Santa Rosa, under ambient storage conditions. *African Journal of Agricultural Research*, *8*(9), 812-818. https://doi.org/10.5897/AJAR12.1708
21- Kittur, F.S., Saroja, N., & Tharanathan, R. (2001). Polysaccharide-based composite coating formulations for shelf-life extension of fresh banana and mango. *European Food Research and Technology*, *213*(4), 306-311. https://doi.org/10.1007/s002170100363
22- Lillioja, S., Neal, A.L., Tapsell, L., & Jacobs Jr, D.R. (2013). Whole grains, type 2 diabetes, coronary heart disease, and hypertension: Links to the aleurone preferred over indigestible fiber. *Biofactors*, *39*(3), 242-258. https://doi.org/10.1002/biof.1077
23- Li, H., & Yu, T. (2001). Effect of chitosan on incidence of brown rot, quality and physiological attributes of postharvest peach fruit. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *81*(2), 269-274.
24- Ma, Z.C., Hong, Q., Wang, Y.G., Tan, H.L., Xiao, C.R., Liang, Q.D., Cai, S.H., & Gao, Y. (2010). Ferulic acid attenuates adhesion molecule expression in gamma-radiated human umbilical vascular endothelial cells. *Biological and Pharmaceutical Bulletin*, *33*(5), 752-758.
25- Magné, C., Saladin, G., & Clément, C. (2006). Transient effect of the herbicide flazasulfuron on carbohydrate physiology in *Vitis vinifera* L. *Chemosphere*, *62*(4), 650-657. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2005.04.119
26- Mathew, S., & Abraham, T.E. (2006). Bioconversions of ferulic acid, an hydroxycinnamic acid. *Critical Reviews in Microbiology*, *32*(3), 115-125. https://doi.org/10.1080/10408410600709628
27- Navarrete, S., Alarcón, M., & Palomo, I. (2015). Aqueous extract of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) and ferulic acid reduce the expression of TNF-α and IL-1β in LPS-activated macrophages. *Molecules*, *20*(8), 15319-15329. https://doi.org/10.3390/molecules200815319
28- Nia, A.E., Taghipour, S., & Siahmansour, S. (2021). Pre-harvest application of chitosan and postharvest *Aloe vera* gel coating enhances quality of table grape (*Vitis vinifera* L. cv.'Yaghouti') during postharvest period. *Food Chemistry*, *347*, 129012. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129012

29- Orzali, L., Forni, C.I.N.Z.I.A., & Riccioni, L. (2014). Effect of chitosan seed treatment as elicitor of resistance to *Fusarium graminearum* in wheat. *Seed Science and Technology*, *42*(2), 132-149. https://doi.org/10.15258/sst.2014.42.2.03
30- Paniagua, C., Posé, S., Morris, V.J., Kirby, A.R., Quesada, M.A., & Mercado, J.A. (2014). Fruit softening and pectin disassembly: An overview of nano structural pectin modifications assessed by atomic force microscopy. *Annals of Botany*, *114*(6), 1375-1383. https://doi.org/10.1093/aob/mcu149
31- Reddy, M.B., Belkacemi, K., Corcuff, R., Castaigne, F., & Arul, J. (2000). Effect of pre-harvest chitosan sprays on post-harvest infection by *Botrytis cinerea* and quality of strawberry fruit. *Postharvest Biology and Technology*, *20*(1), 39-51. https://doi.org/10.1016/S0925-5214(00)00108-3
32- Saavedra, G.M., Figueroa, N.E., Poblete, L.A., Cherian, S., & Figueroa, C.R. (2016). Effects of preharvest applications of methyl jasmonate and chitosan on postharvest decay, quality and chemical attributes of *Fragaria chiloensis* fruit. *Food Chemistry*, *190*, 448-453. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.05.107
33- Sajid, M., Basit, A., Ullah, Z., Shah, S.T., Ullah, I., Mohamed, H.I., & Ullah, I. (2020). Chitosan-based foliar application modulated the yield and biochemical attributes of peach (*Prunus persica* L.) cv. Early Grand. *Bulletin of the National Research Centre*, *44*(1), 1-11. https://doi.org/10.1186/s42269-020-00405-w
34- Shiekh, R.A., Malik, M.A., Al-Thabaiti, S.A., & Shiekh, M.A. (2017). Chitosan as a novel edible coating for fresh fruits. *Food Science and Technology Research*, *19*(2), 139–155.
35- Sofy, A.R., Dawoud, R.A., Sofy, M.R., Mohamed, H.I., Hmed, A.A., & El-Dougdoug, N.K. (2020). Improving regulation of enzymatic and non-enzymatic antioxidants and stress-related gene stimulation in cucumber mosaic cucumovirus-infected cucumber plants treated with glycine betaine, chitosan & combination. *Molecules*, *25*(10), 2341. https://doi.org/10.3390/molecules25102341
36- Srinivasa, P., Baskaran, R., Ramesh, M., Harish Prashanth, K., & Tharanathan, R. (2002). Storage studies of mango packed using biodegradable chitosan film. *European Food Research and Technology*, *215*, 504-508. https://doi.org/10.1007/s00217-002-0591-1
37- Vinayagam, R., Jayachandran, M., & Xu, B. (2016). Antidiabetic effects of simple phenolic acids: A comprehensive review. *Phytotherapy Research*, *30*(2), 184-199. https://doi.org/10.1002/ptr.5528
38- Wang, L.Z., Liu, L., Holmes, J., Kerry, J.F., & Kerry, J.P. (2007). Assessment of film-forming potential and properties of protein and polysaccharide-based biopolymer films. *International Journal of Food Science and Technology*, *42*(9), 1128-1138. https://doi.org/10.1111/J.1365-2621.2006.01440.X
39- Wang, S.Y., & Gao, H. (2013). Effect of chitosan-based edible coating on antioxidants, antioxidant enzyme system, and postharvest fruit quality of strawberries (*Fragaria* x *aranassa Duch*.). LWT-*Food Science and Technology*, *52*(2), 71-79. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.05.003
40- Wongmetha, O., & Ke, L.S. (2012). The quality maintenance and extending storage life of mango fruit after postharvest treatments. *International Journal of Agricultural and Biosystems Engineering*, *6*(9), 798-803.
41- Xing, Y., Yang, H., Guo, X., Bi, X., Liu, X., Xu, Q., Wang, Q., Li, W., Li, X., Shui, Y., & Chen, C. (2020). Effect of chitosan/Nano-TiO_2 composite coatings on the postharvest quality and physicochemical characteristics of mango fruits. *Scientia Horticulturae*, *263*, p.109135. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.109135
42- Xu, F., & Liu, S. (2017). Control of postharvest quality in blueberry fruit by combined 1-methylcyclopropene (1-MCP) and UV-C irradiation. *Food and Bioprocess Technology*, *10*, 1695-1703. https://doi.org/10.1007/s11947-017-1935-y
43- Yaman, Ö., & Bayoındırlı, L. (2002). Effects of an edible coating and cold storage on shelf-life and quality of cherries. LWT-*Food Science and Technology*, *35*(2), 146-150.
44- Zagzog, O.A., Gad, M.M., & Hafez, N.K. (2017). Effect of nano-chitosan on vegetative growth, fruiting and resistance of malformation of mango. *Trends in Horticultural Research*, *67*, 673-681. https://doi.org/10.3923/THR.2017.11.18
45- Zhang, C., Long, Y.H., Wang, Q.P., Li, J.H., Wu, X.M., & Li, M. (2019). The effect of pre harvest 28.6% chitosan composite film sprays for controlling the soft rot on kiwifruit. *Horticultural Science*, *46*(4), 180-194. https://doi.org/10.17221/84/2018-HORTSCI